

Pengaruh Desain *Interior Diffuser* Terhadap Peningkatan Performa *Diffuser Augmented Wind Turbine* (DAWT)

Yiyin Klistafani^{1,a} dan Muh. Iqbal Mukhsen^{1,b}

¹Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Jl. Perintis Kemerdekaan KM.10 Tamalanrea, Makassar, 90245, Indonesia

^ayiyin_klistafani@poliupg.ac.id

^biqbal.mukhsen@poliupg.ac.id



Abstract—The main objective of numerical simulation in this studies is to determine the effect of diffuser's interior design on increasing the diffuser augmented wind turbine (DAWT) performance by observing wind velocity increment. Numerical studies were carried out using the computational Fluid Dynamics (CFD) method through a two-dimensional steady approach with Ansys Fluent 18.2 and Ansys Workbench 18.2 software. The present studies spesifically investigate the shapes of diffuser, namely flat diffuser and curved diffuser. The studies demonstrate that the curved diffuser generates stronger increment of the wind velocity than flat diffuser (at centreline), which 1.842 times the freestream velocity, while the flat diffuser is only able to increse up to 1.742 times the freestream velocity. The curved diffuser shows the highest increment of the average wind velocity along diffuser with the greatest increment of 78.66 % and the flat diffuser is only able to provide average wind velocity increment up to 44.81%. The curved interior of diffuser is able to enlarge the wake area, so the effect of the suction flow entering the diffuser becomes stronger. Therefore, curved diffuser is better to provide DAWT performance improvements.

Keywords—CFD; DAWT; diffuser, wind energy, wind turbine.

Abstrak—Tujuan utama dari simulasi numerik pada penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh desain interior *diffuser* terhadap peningkatan performa *diffuser augmented wind turbine* (DAWT) melalui tinjauan nilai peningkatan kecepatan angin yang mampu dihasilkan. Studi Numerik dilakukan dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) melalui pendekatan *steady two-dimensional* dengan software *Ansys Fluent 18.2* dan *Ansys Workbench 18.2*. Desain interior *diffuser* yang digunakan pada penelitian ini yaitu flat diffuser dan curved diffuser. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa *Curved diffuser* mampu meningkatkan kecepatan angin lebih tinggi dibandingkan *flat diffuser* (pada daerah *centreline*), sebesar 1,842 kali kecepatan *freestream*, dimana *flat diffuser* hanya mampu meningkatkan hingga 1,742 kali kecepatan *freestream*. Selain itu *Curved diffuser* mampu memproduksi peningkatan kecepatan rata-rata angin tertinggi sebesar 78,66%, sedangkan *Flat diffuser* hanya mampu memberikan peningkatan kecepatan rata-rata angin hingga 44,81%. Interior lengkung

diffuser mampu memperbesar daerah *wake* yang terbentuk sehingga efek hisap aliran memasuki *diffuser* menjadi semakin kuat. Oleh karenanya, *curved diffuser* lebih mampu memberikan peningkatan performa pada *Diffuser Augmented Wind Turbine*.

Kata Kunci—CFD; DAWT; diffuser; energi angin; turbin angin.

I. Pendahuluan

Energi alternatif sangat menarik untuk dikaji lebih dalam mengingat semakin terbatasnya ketersediaan sumber energi fosil di bumi. Tuntutan kebutuhan energi yang sangat tinggi tidak sebanding dengan ketersediaan sumber daya minyak, sehingga upaya pengembangan pemanfaatan energi alternatif perlu digalakkan.

Indonesia sebagai Negara kepulauan memberikan keuntungan tersendiri dari segi potensi angin. Namun kecepatan angin di daratan Indonesia rata-rata kurang dari 5%. Data dari BMKG menunjukkan 50 lebih lokasi memiliki kecepatan angin 3-5 m/s, sementara hasil pengukuran LAPAN menunjukkan 30 lebih lokasi dengan kecepatan angin 3-5 m/s [1]. Rendahnya kecepatan angin tersebut menjadi salah satu faktor penghambat dalam pemanfaatan teknologi sistem konversi energi angin di Indonesia. Oleh karena itu diperlukan adanya inovasi dalam mengoptimalkan pemanfaatan energi angin di daerah yang memiliki potensi kecepatan angin yang rendah. Salah satu konsep yang sedang berkembang yaitu rekayasa desain geometri diffuser untuk pengembangan DAWT (*Diffuser Augmented Wind Turbine*).

Pemilihan *diffuser* sebagai bentuk selubung *wind turbine* bermula dari penelitian yang dilakukan oleh Ohya yaitu dengan menguji tiga bentuk geometri selubung, *nozzle*, silinder dan *diffuser* [2]. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa bentuk *diffuser*

mampu menghasilkan nilai peningkatan kecepatan relatif angin paling besar dibandingkan dengan geometri yang lain.

Purwanto dan Nasution telah melakukan modifikasi bentuk *diffuser* dengan interior lengkung untuk mendapatkan performa DAWT yang lebih optimal. Penambahan permukaan lengkung pada interior *diffuser* mampu meningkatkan kecepatan angin maksimum hingga 30% [3]. Lipian et al. juga telah melakukan penelitian terkait sensitivitas sudut divergensi *diffuser* dan ketinggian brim sebagai parameter desain 3kW DAWT. Hasil yang didapat yaitu penggunaan *diffuser* ($2\alpha = 8^\circ$) dengan ketinggian brim sebesar $0.3D$ mampu menghasilkan peningkatan kecepatan angin sekitar 50% pada inlet *diffuser* [4].

Berdasarkan studi yang telah dilakukan sebelumnya, maka sangat menarik untuk dicermati bahwa desain *diffuser* menjadi salah satu faktor yang menentukan efektifitas penggunaan *Diffuser Augmented Wind Turbine (DAWT)*. Oleh karenanya, sangat penting untuk dilakukan penelitian lebih lanjut secara numerik mengenai pengaruh desain *diffuser* terhadap peningkatan performa DAWT. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh desain interior *diffuser* (*flat* dan *curved*) terhadap peningkatan performa DAWT dengan fokus terhadap parameter peningkatan kecepatan angin yang dihasilkan.

II. Metode Penelitian

Studi Numerik dilakukan dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)* dengan software *Ansys Fluent 18.2*. Prosedur yang dilakukan pada penelitian numerik adalah tahap *pre-processing* dengan bantuan software *Ansys Workbench 18.2*, tahap *solving* dan dilanjutkan dengan tahap *post-processing*. Studi *CFD* yang dilakukan dengan fokus utama pada pengembangan aliran di sekitar dua tipe *diffuser* yang berbeda. Pendekatan *steady two-dimensional* tetap dilakukan untuk penelitian ini.

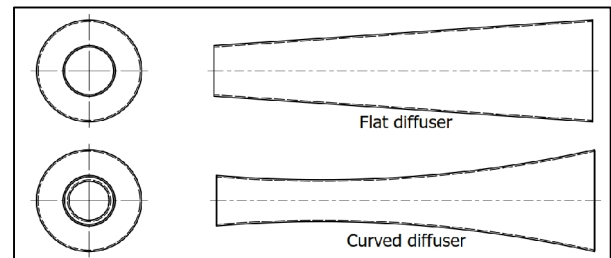
A. Tahap Pre-processing

Tahap awal yang dilakukan adalah mendesain geometri *diffuser*. Dimensi *flat diffuser* merujuk pada penelitian Ohya et al. [2] yang juga digunakan acuan oleh Wibowo et al. [5]. Desain kelengkungan *diffuser* pada *curved diffuser* disesuaikan dengan dimensi *flat diffuser*. Ketebalan *diffuser* yaitu 1,25 cm, mengacu pada studi terbaru yang dilakukan oleh Hu dan Wang [6], dimana pelat yang digunakan sebanyak sepuluh *layer* dengan ketebalan masing-masing 1,25 mm.

Desain *diffuser* yang disimulasikan dapat dilihat pada gambar 1 dan 2, sedangkan untuk detail dimensi

dapat dilihat pada tabel 1. Setelah itu dilakukan grid independence dengan membuat variasi tujuh jenis mesh untuk mendapatkan konfigurasi mesh yang paling sesuai dan mampu memberikan hasil komputasi yang mendekati hasil eksperimen [2].

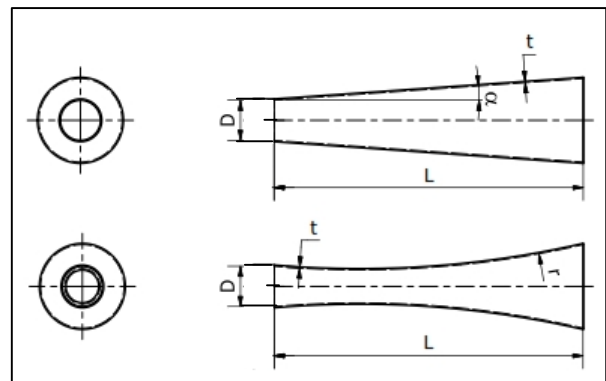
Penentuan kondisi batas pada simulasi mengacu pada penelitian terdahulu [2, 7]. Kondisi batas yang ditetapkan pada simulasi dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 1. Desain Interior Diffuser

Tabel 1. Dimensi Geometri Diffuser

Spesifikasi	Flat Diffuser	Curved Diffuser
Diameter inlet (D)	40 cm	40 cm
Panjang <i>diffuser</i> , (L)	308 cm	308 cm
Panjang <i>inlet shroud</i> , (l)	-	-
Ketebalan <i>diffuser</i> (t)	1,25 cm	1,25 cm
Sudut bukaan, α ($^\circ$)	4°	4°
Jari-jari kelengkungan, r	-	1000 cm



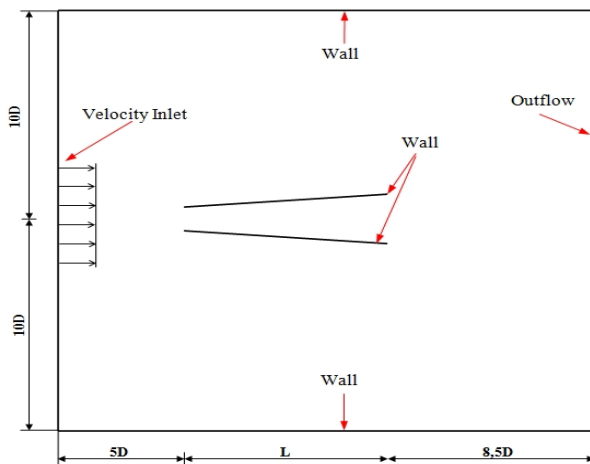
Gambar 2. Detail dimensi *flat diffuser* dan *curved diffuser*

B. Tahap Solving

Komputasi numerik dilakukan dengan menggunakan software *ANSYS Fluent 18.2*. Aliran diasumsikan *steady* dan *incompressible*. Hal tersebut sangat beralasan karena turbin angin beroperasi pada kecepatan yang lebih rendah dari pada kecepatan suara.

Pada langkah penentuan *viscous model*, *Shear Stress Transport (SST) $k-\omega$* dipilih sebagai *turbulence model* yang terdiri atas dua persamaan dasar menurut Menter

[8]. Model tersebut terdiri atas kombinasi dari model *standard k-ε* [9] di daerah *freestream* dan *Wilcox k-ω* model [10] untuk aliran di dekat dinding. *SST k-ω* merupakan model turbulensi yang baik dalam hal memprediksi aliran dengan pengaruh *adverse pressure gradient* yang kuat sebagaimana telah digunakan pada simulasi numerik terdahulu Hu dan Wang [6], Bangga dan Sasongko [11], Bangga et al. [12], Pape and Lecanu [13], Sørensen et al [14], Weihing et al. [15], Jost et al [16], dan Klistafani [17, 18].



Gambar 3. Kondisi batas simulasi

Penetapan jenis material yang akan digunakan yaitu udara dengan *density* (ρ) $1,225 \text{ kg/m}^3$ dan viskositas (μ) $1,7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$. Kondisi batas yang ditentukan pada daerah *inlet* yaitu *velocity inlet*. Bilangan *Reynolds*, $Re = 1,36 \times 10^5$ berdasarkan nilai kecepatan angin sebesar 5 m/s [2, 5]. Nilai intensitas turbulen yang ditentukan yaitu 3%. Sedangkan *outlet* adalah *outflow*. Detail *boundary condition* seperti yang terlihat pada tabel 3.2. Solution pada penelitian ini akan menggunakan *discretization second order* untuk *pressure*, *second-order upwind* untuk momentum, *turbulence kinetic energy* dan *turbulence dissipation rate*. Kriteria konvergensi ditetapkan sebesar 10^{-6} dengan batas iterasi sampai dengan 10.000 iterasi.

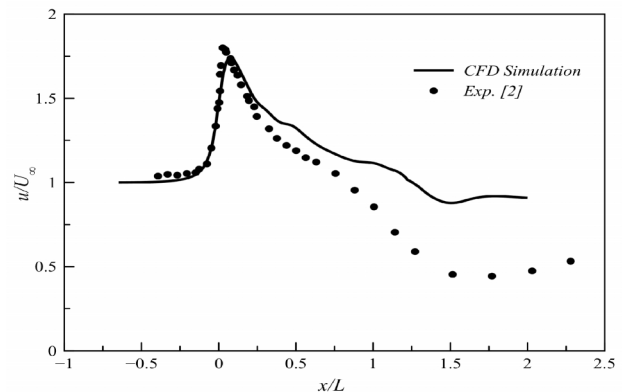
B. Tahap Post-Processing

Post-processing merupakan tahapan mengekstrak hasil komputasi yang telah diperoleh. Hasil tersebut dapat berupa *raw data* ataupun hasil visualisasi. *Raw data* yang diekstrak diantaranya *plot x-y* kecepatan aliran dan tekanan statis di sepanjang *midline (centreline) diffuser*, dan kecepatan aliran di setiap *section (x/L)*. Adapun hasil visualisasi yang di-export untuk dijadikan bahan kajian adalah kontur kecepatan dan vektor kecepatan

III. Hasil dan Pembahasan

III.1 Streamwise flow velocity

Distribusi peningkatan kecepatan angin disepanjang sumbu *axial diffuser* hasil eksperimen [2] dan numerik dapat dilihat pada gambar 4. Perbandingan distribusi *streamwise flow velocity* dilakukan guna memvalidasi hasil komputasi numerik dengan hasil eksperimen. Data peningkatan kecepatan angin yang dibandingkan adalah data untuk *flat diffuser*, dimana spesifikasi dimensi *flat diffuser* pada simulasi mengacu pada spesifikasi *diffuser* yang digunakan oleh Ohya et al [2].

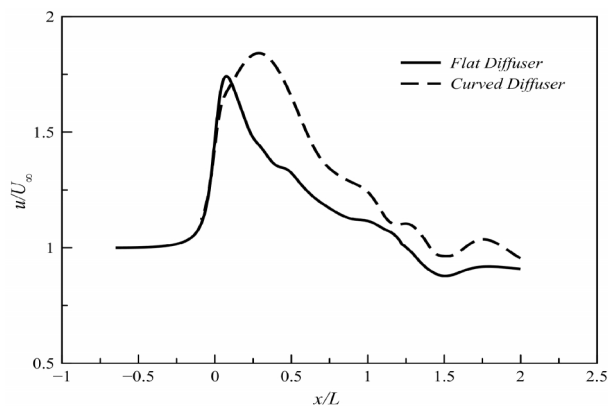


Gambar 4. Perbandingan distribusi *streamwise flow velocity* disepanjang sumbu *axial (centreline) diffuser* hasil eksperimen [2] dan numerik

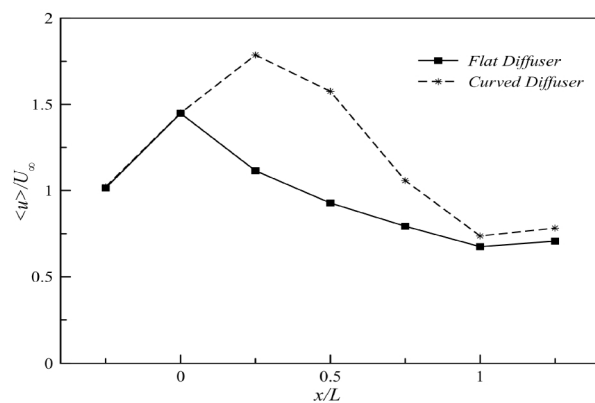
Terlihat pada gambar 4 bahwa hasil simulasi yang telah dilakukan memiliki kesamaan dengan hasil eksperimen [2], terutama untuk peningkatan kecepatan angin pada daerah upstream hingga *outlet diffuser*. Peningkatan kecepatan tertinggi pada hasil eksperimen mencapai 1,795 kali kecepatan *freestream* (5m/s), sedangkan pada hasil numerik peningkatan kecepatan angin tertinggi mencapai 1,742 kali. Hal ini mengindikasikan bahwa selisih prediksi numerik dengan eksperimen dalam hal peningkatan kecepatan angin tertinggi berkisar 2.95%.

Perbandingan distribusi peningkatan kecepatan angin yang dihasilkan *flat diffuser* dan *curved diffuser* pada *centreline diffuser* dapat dilihat pada gambar 5. *Curved diffuser* mampu meningkatkan kecepatan angin lebih tinggi dibandingkan *flat diffuser*, yakni hingga 1,842 kali ($x/L = 0,285$) kecepatan *freestream*, dimana *flat diffuser* hanya mampu meningkatkan hingga 1,742 kali ($x/L = 0,077$) kecepatan *freestream*. Namun peningkatan kecepatan angin pada daerah *centreline diffuser* sejatinya belum mampu mewakili kondisi aktual dari keseluruhan kecepatan angin di dalam *diffuser*. Oleh karenanya pada penelitian kali ini juga dikaji tentang peningkatan kecepatan rata-rata yang

dihasilkan oleh *diffuser* di setiap *section* sepanjang arah *axial*, seperti yang terlihat pada gambar 6.



Gambar 5. Distribusi *streamwise flow velocity* disepanjang sumbu *axial* (*centreline*) *diffuser* untuk *flat diffuser* dan *curved diffuser*



Gambar 6. Distribusi peningkatan kecepatan angin rata-rata disepanjang sumbu *axial* (*centreline*) *diffuser* untuk *flat diffuser* dan *curved diffuser*

Terlihat pada gambar 6 bahwa tidak ada perbedaan peningkatan kecepatan rata-rata yang dihasilkan oleh *flat diffuser* dengan *curved diffuser* pada daerah *upstream* hingga *inlet diffuser* ($x/L = 0$). Selisih peningkatan kecepatan rata-rata angin sangat signifikan disepanjang *diffuser section*, sedangkan pada daerah *downstream* selisih tersebut mulai mengecil kembali.

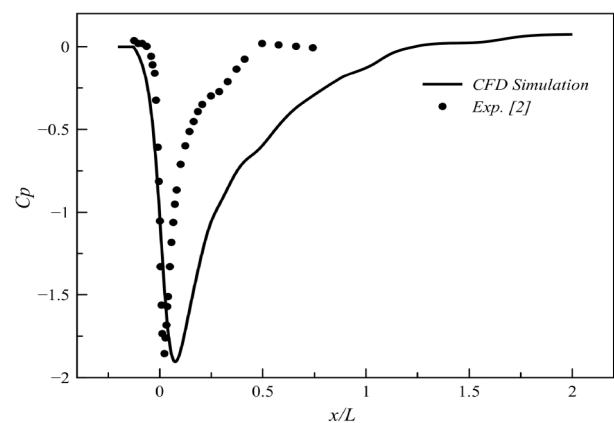
Curved diffuser mampu memproduksi peningkatan kecepatan rata-rata angin tertinggi yaitu 78,66% dengan kecepatan rata-rata maksimum 8,93 m/s pada $x/L = 0,77$. Hal ini tentunya berbeda dengan peningkatan kecepatan angin pada daerah *centreline curved diffuser* (gambar 5), dimana kecepatan maksimum yang dihasilkan yaitu 9,21 m/s.

Flat diffuser hanya mampu memberikan peningkatan kecepatan rata-rata angin hingga 44,81% dengan kecepatan angin rata-rata tertinggi pada *section* $x/L = 0$ sebesar 7,24 m/s. Jika hanya meninjau kecepatan pada daerah *centreline*, maka *flat diffuser* mampu

meningkatkan kecepatan angin sebesar 74,2% dengan kecepatan tertinggi sebesar 8.71 m/s (gambar 5). Berdasarkan penjelasan tersebut maka dapat disimpulkan bahwa peningkatan kecepatan angin pada daerah *centreline* tidak mampu mewakili kondisi keseluruhan kecepatan angin di dalam *diffuser* pada setiap *section*.

III.2 Coefficient Pressure

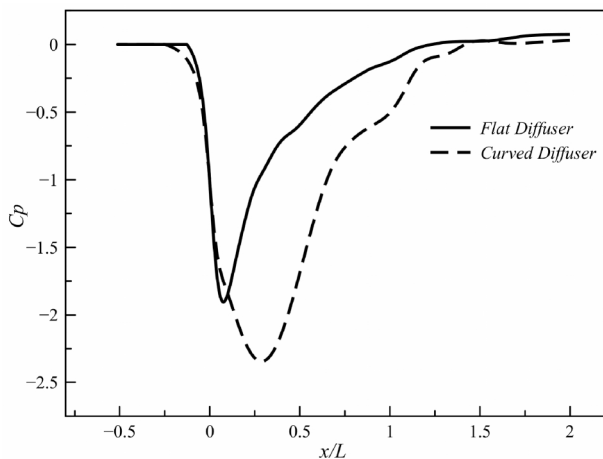
Perbandingan kuantitatif antara hasil simulasi dengan eksperimen yang telah dilakukan Ohya et al. [2] dapat dilihat juga pada gambar 7, yaitu perbandingan distribusi *coefficient pressure* pada *flat diffuser*. Hasil komputasi menunjukkan persamaan hasil dengan eksperimen pada daerah *upstream* hingga *inlet diffuser* ($x/L = 0$). Selisih nilai C_p terendah diantara keduanya yaitu 2,67%, dimana C_p terendah hasil eksperimen yaitu -1,855 sedangkan C_p terendah hasil numerik yaitu -1,904.



Gambar 7. Perbandingan distribusi *coefficient pressure* disepanjang sumbu *axial* (*centreline*) *diffuser* hasil eksperimen [2] dan numerik

Distribusi *coefficient pressure* *flat diffuser* dan *curved diffuser* dapat dilihat pada gambar 8. Tidak ada perbedaan nilai C_p yang signifikan antara *flat diffuser* dan *curved diffuser* pada daerah *upstream* hingga *inlet diffuser* ($x/L = 0$). Namun pada daerah di sepanjang *diffuser* hingga *downstream*, nilai C_p yang dihasilkan oleh *curved diffuser* (-2,344) lebih rendah dibandingkan dengan nilai C_p yang dihasilkan oleh *flat diffuser* (-1,904). Semakin rendah *pressure* yang dihasilkan maka semakin tinggi potensi peningkatan kecepatan angin yang dihasilkan, hal tersebut sesuai dengan Hukum *Bernoulli*. Oleh karenanya kajian *coefficient pressure* memberikan gambaran yang sama dengan distribusi *streamwise flow velocity* (gambar 5), dimana *curved diffuser* memiliki performa yang lebih baik

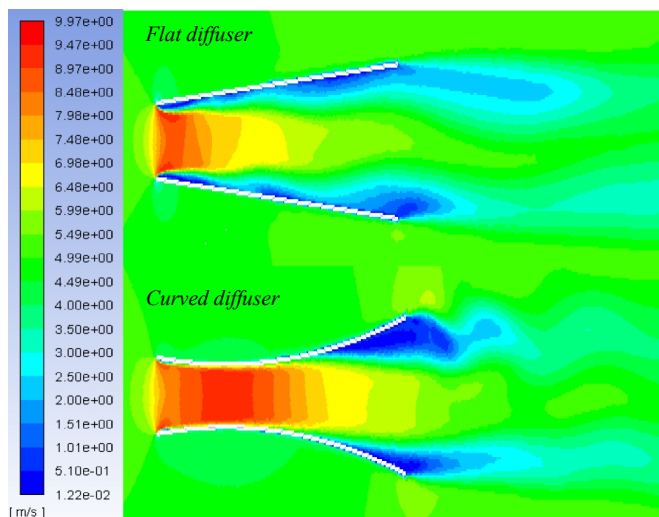
dibandingkan dengan *flat diffuser* karena mampu meningkatkan kecepatan angin lebih optimal.



Gambar 8. Distribusi *coefficient pressure* disepanjang sumbu axial (*centreline*) diffuser untuk *flat diffuser* dan *curved diffuser*

III.3 Kontur dan Vektor Kecepatan

Kontur kecepatan dan vektor kecepatan untuk *flat diffuser* dan *curved diffuser* dapat dilihat pada gambar 9 dan 10. Pada gambar terlihat bahwa kontur kecepatan pada *curved diffuser* lebih didominasi dengan warna merah di dalam *diffuser*. Hal ini menunjukkan bahwa *curved diffuser* mampu menghasilkan kecepatan fluida yang tinggi di daerah setelah sisi *inlet diffuser* dan kecepatan menurun perlahan-lahan (ditunjukkan dengan gradasi warna jingga ke hijau) hingga daerah *downstream*.

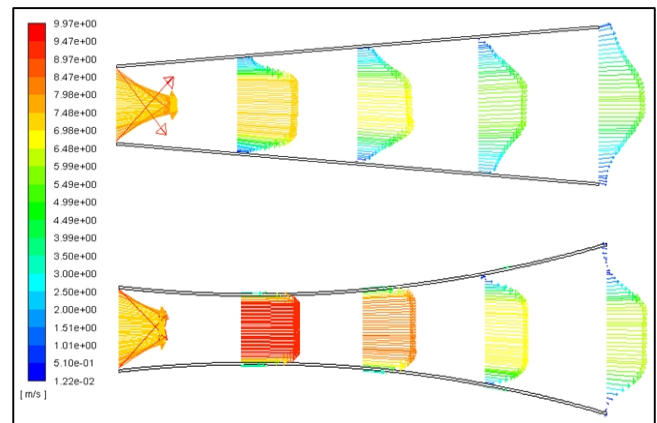


Gambar 9. Kontur Kecepatan untuk *flat diffuser* dan *curved diffuser* (*velocity magnitude, m/s*)

Selain itu kontur kecepatan pada daerah dekat dinding di sekitar *outlet diffuser* hingga *downstream* sangat menarik untuk dikaji. Pada daerah tersebut untuk

flat diffuser, *vortex* (zona yang berwarna biru tua) yang terbentuk sangatlah kecil dibandingkan dengan *curved diffuser*. Vortisiti yang besar pada bagian belakang *curved diffuser* mengakibatkan aliran fluida pada sisi *upstream* dihisap dengan cepat hingga masuk ke *diffuser*. Efek hisap dari *vortex downstream* mampu menghasilkan dampak positif dalam meningkatkan kualitas kecepatan angin di dalam *diffuser* [19]. Hal ini membuktikan bahwa interior lengkung *diffuser* mampu memperbesar daerah *wake* yang terbentuk sehingga efek hisap aliran memasuki *diffuser* juga semakin kuat. Fenomena tersebut didukung juga dengan bukti tampilan vektor kecepatan pada gambar 10.

Pada gambar 10 terlihat jelas adanya *back flow* di dekat *wall outlet curved diffuser*. Hal ini menandakan *vortex* telah terbentuk pada daerah tersebut, sehingga mampu meningkatkan efek hisap fluida ke dalam *curved diffuser*. Oleh karenanya *curved diffuser* mampu memproduksi peningkatan angin lebih baik daripada *flat diffuser*. Hal tersebut sesuai dengan



Gambar 10. Vektor kecepatan untuk *flat diffuser* dan *curved diffuser* (*velocity magnitude, m/s*)

iv. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang didapat dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- Hasil simulasi numerik yaitu *streamwise flow velocity* dan *coefficient pressure* yang didapatkan mendekati hasil eksperimen, walaupun terdapat perbedaan pada daerah *wake*.
- Selisih prediksi numerik dengan eksperimen dalam hal peningkatan kecepatan angin tertinggi berkisar 2.95%. Sedangkan selisih nilai C_p terendah diantara keduanya yaitu 2,67%.
- *Curved diffuser* mampu meningkatkan kecepatan angin lebih tinggi dibandingkan *flat diffuser*, yakni hingga 1,842 kali ($x/L = 0,285$) kecepatan

freestream, dimana *flat diffuser* hanya mampu meningkatkan hingga 1,742 kali ($x/L = 0,077$) kecepatan *freestream*

- *Curved diffuser* mampu memproduksi peningkatan kecepatan rata-rata angin tertinggi yaitu 78,66% dengan kecepatan rata-rata maksimum 8,93 m/s pada $x/L = 0,77$. Sedangkan *Flat diffuser* hanya mampu memberikan peningkatan kecepatan rata-rata angin hingga 44,81% dengan kecepatan angin rata-rata tertinggi pada *section* $x/L = 0$ sebesar 7,24 m/s
- Peningkatan kecepatan angin pada daerah *centreline* tidak mampu mewakili kondisi keseluruhan kecepatan angin di dalam *diffuser* pada setiap *section*.
- Nilai C_p yang dihasilkan oleh *curved diffuser* sebesar -2,344, lebih rendah dibandingkan dengan nilai C_p yang dihasilkan oleh *flat diffuser* sebesar -1,904.
- Interior lengkung *diffuser* mampu memperbesar daerah *wake* yang terbentuk sehingga efek hisap aliran memasuki *diffuser* juga semakin kuat. Oleh karenanya, *curved diffuser* lebih mampu memberikan peningkatan performa pada *Diffuser Augmented Wind Turbine*, karena dapat meningkatkan kecepatan angin lebih optimal.

Ucapan Terima Kasih

Kami ucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan tinggi Republik Indonesia atas bantuan hibah dana untuk kegiatan penelitian ini sehingga kegiatan penelitian dapat terlaksana dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] Syahrul, "Prospek pemanfaatan energi angin sebagai energi alternatif di daerah pedesaan," *Media Elektrik*, vol.3 no.2, hal.140-144, 2008.
- [2] Y. Ohya, T. Karasudani, A. Sakurai, K. Abe, and M. Inoue, "Development of a shrouded wind turbine with a flanged diffuser," *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 96, pp. 524-539, 2008.
- [3] D.W. Purwanto dan A.M.T. Nasution, "Interior lengkung diffuser untuk peningkatan performansi diffuser augmented wind turbine (DAWT)," *Prosiding seminar nasional energi terbarukan Indonesia I*, 2010.
- [4] M. Lipian, M. Karczewski, and K. Olasek, "Sensitivity study of diffuser angle and brim height parameters for the design of 3kW diffuser augmented wind turbine," *Open engineering*, 5, pp. 280-286, 2015.
- [5] A.T.H. Wibowo, R.A. Wahyuono, dan G. Nugroho, "Studi numerik pengaruh geometri dan desain diffuser untuk peningkatan kinerja DAWT (diffuser augmented wind turbine)," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 14 no.2, hal.90-96, ISSN 1410-9867, 2013.
- [6] J. Hu, W. Wang, "Upgrading a shrouded wind turbine with a self adaptive flanged diffuser," *Energies*, 8, pp.5319-5337, 2015.
- [7] K. Abe and Y. Ohya, "An investigation of flow fields around flanged diffusers using CFD," *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 92, pp.315-330, 2004.
- [8] F.R. Menter, "Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications," *AIAA journal*, 32(8), pp.1598-1605, 1994.
- [9] B.E. Launder, D.B. Spalding, "Mathematical models of turbulence," Academic press, 1972.
- [10] D.C. Wilcox, "Turbulence modelling for CFD". DCW Industries, 1993.
- [11] G. Bangga and H. Sasongko, "Dynamic stall prediction of a pitching airfoil using an adjusted two-equation URANS turbulence model," *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 10(1), pp.1-10, 2017.
- [12] G. Bangga, T. Kusumadewi, G. Hutomo, A. Sabila, T. Syawitri, H. Setiadi, M. Faisal, R. Wiranegara, Y. Hendranata, D. Lastomo, L. Putra, "Improving a two-equation eddy-viscosity turbulence model to predict the aerodynamic performance of thick wind turbine airfoils," *Journal of Physics: Conference Series*, 974(1), 012019, 2018.
- [13] A.L. Pape, and J. Lecanu, "3D Navier-Stokes computations of a stall regulated wind turbine," *Wind Energy*, 7(4), pp.309-324, 2004.
- [14] N.N. Sørensen, J.A. Michelsen, S. Schreck, "Navier-Stokes predictions of the NREL phase VI rotor in the NASA Ames 80 ft \times 120 ft wind tunnel," *Wind Energy*, 5(2-3), pp.151-169, 2002.
- [15] P. Wehling, J. Letzgus, G. Bangga, T. Lutz, and E. Krämer, "Hybrid RANS/LES Capabilities of the Flow Solver FLOWer—Application to Flow Around Wind Turbines," In *Symposium on Hybrid RANS-LES Methods* Springer, Cham, pp.369-380, 2016.
- [16] E. Jost, A. Fischer, G. Bangga, T. Lutz, E. Krämer, "An investigation of unsteady 3-D effects on trailing edge flaps," *Wind Energy Science*, 2(1), pp.241-256, 2017.
- [17] Y. Klistafani, "Studi numerik steady RANS aliran fluida di dalam asymmetric diffuser," *Journal INTEK*, vol. 4 (1), pp.20-26, April 2017.
- [18] Y. Klistafani, "Karakteristik aliran fluida di dalam asymmetric diffuser dengan penambahan vortex generator," *Journal INTEK*, vol. 5 (1), pp.21-26, 2018.
- [19] Y. Klistafani, M.I. Mukhsen, and G. Bangga "Assessment of Various Diffuser Structures to Improve the Power Production of a Wind Turbine Rotor," *Technische Mechanik*, vol. 38, pp.256-266, 2018.